

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST - UNIDADE LAGES

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

10º FASE

**MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE FUNDAÇÕES DE PONTES E ADITIVOS  
BUSCANDO AUMENTAR A VIDA ÚTIL DO CONCRETO**

RAPHAEL ELIÉZER BRAUER EBERHART

LAGES (SC)

2020

RAPHAEL ELIÉZER BRAUER EBERHART

**MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE FUNDAÇÕES DE PONTES E ADITIVOS  
BUSCANDO AUMENTAR A VIDA ÚTIL DO CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador Msc. Aldori Batista Anjos.

LAGES-SC

2020

RAPHAEL ELIÉZER BRAUER EBERHART

**MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE FUNDAÇÕES DE PONTES E ADITIVOS  
BUSCANDO AUMENTAR A VIDA ÚTIL DO CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador Msc. Aldori Batista Anjos.

Lages, SC \_\_\_/\_\_\_/2020. Nota \_\_\_\_\_

---

Prof. Msc. Aldori Anjos, coordenador do curso de Engenharia Civil

LAGES-SC

2020

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

RAPHAEL ELIÉZER BRAUER EBERHART

RELAÇÃO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE FUNDAÇÕES DE PONTES E  
ADITIVOS BUSCANDO AUMENTAR A VIDA ÚTIL DO CONCRETO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Aldori Anjos, coordenador do curso de Engenharia Civil.

Banca Examinadora:

LAGES-SC

2020

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu eterno Deus, que sempre me deu sustento estando comigo ao longo desses 5 desafiadores anos de minha vida, me entregando forças, e que me guia conforme Sua vontade. Meu bom Deus, fiel e justo. Agradeço também às dificuldades que por meio de Sua permissão encontrei no trajeto da Engenharia Civil e também em minha vida pessoal, que me fizeram alcançar maturidade para ultrapassar todos os desafios e me tornar cada vez mais parecido Contigo.

Segundamente, agradeço à minha família, que me suportou e amou em meus momentos mais estressantes por quais passei para chegar até aqui, não podendo deixar de mencionar seus nomes: Markus e Marlise; meus pais, que sempre fizeram seus papéis de maneira impecável e se esforçaram de maneira inimaginável para me dar a oportunidade de receber uma educação de qualidade, me desafiando em todo momento a ser uma pessoa de bom coração. Meu pai; o bom pai, a “manteiga derretida”, “grandão”, porém sensível, mil e uma funções. Minha mãe, aquela que edifica o lar, pois é sábia. Henrique e Victor; meus irmãos, a alegria da casa. São bobos, e como todos os irmãos, também existem algumas brigas. Porém, sem eles, com suas piadas e brincadeiras o tempo todo, sim o tempo todo! Com certeza, minha vida seria muito chata. Agradeço à vocês por proporcionar a todos que estão por perto uma vida leve.

Agradeço aos meus avós, seu Fernando, dona Lordi e dona Anita. Todos com seus papéis importantes, pois aprendemos com vocês. Teimosos e guerreiros, pois venceram na vida. Meu avô Fernando, quiçá o homem mais correto que conheço em minha vida, espicha o bigode toda vez que acha algo engraçado, ou quando vê os netos e a família toda reunida em uma celebração de Natal, adora carro, e de passear com os netos em uma manhã de sábado, casado com minha avó Lordi, que sempre está por dentro de tudo. Quer saber de alguma notícia? Remédio? Conselho? Pergunte à Ela. Mulher de fé, resolve tudo com oração. Dona Anita, mulher guerreira e batalhadora. Venceu poucas e boas. Continua firme, igual palanque no banhado. Sinônimo de amor, carinho e inspiração de fé. A saudade aperta, pois são mais de 900 km que nos separam, mas apenas de vista, não de coração. Vó, a senhora está sempre comigo. Agradeço aos meus tios; Ricardo e Roberto por partilharmos os mesmos hobbies, gostos e assuntos. Passar a tarde de sábado assistindo TV, jogando vídeo game e escutando música com vocês, com certeza, é uma das coisas que mais gosto. Agradeço ao restante da

família perdida em São Paulo; tio Dú, tia Nani, primos Fê, e Niquinho. Por saírem do sudeste do país e se acolherem nas bandas de Lages para todo ano passarmos um tempo juntos. Saibam que em todas as minhas férias de final de ano, eu não pude ter companhia melhor, pois todos precisamos de algum tempo de refrigério.

Agradeço aos amigos que conquistei durante este tempo, em especial a galera do time Engenhando FC, os quais partilhamos de momentos marcantes durante nossos jogos disputados e momentos de descontração. Aos colegas de classe que sempre colaboraram em tornar a turma unida nas etapas mais complicadas que passamos. Em especial; Bruna, Gabriel, Fernando, Luciano e Karine. “Quem encontra um amigo, encontra um tesouro”, espero ter vocês pelos próximos 200 anos. Obrigado por tudo.

Agradeço a cada professor que fez parte do meu processo de aprendizado, cada um contribuindo com muito esmero e dedicação nessa arte, que é a de ensinar. Vocês têm um papel muito importante na formação acadêmica de todos nós, dispostos a nos mostrar os melhores caminhos, mas também cobrando por esforço e dedicação para alcançarmos nossos sonhos, pois sem vocês, quem faria de nós Engenheiros Civis?

Agradeço aos líderes e coordenadores da instituição que sempre estiveram disponíveis em nos dar todo o suporte que precisávamos.

Por último, e também muito importante, agradeço à pessoa que passará o resto da vida ao meu lado; Sarah. Mulher inteligente, não por me escolher, mas por toda a sua dedicação ao passar dos anos. Mulher linda, e muito forte. Obrigado por me ajudar a chegar até aqui, sem você, teria sido muito mais difícil. Obrigado por tornar a minha vida um mar de carinho e amor.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo enfatizar os principais métodos construtivos de fundações de pontes visando a maior durabilidade do concreto a partir de aditivos implementados que garantem qualidade superior dos elementos de fundações. No estudo, foram observados os métodos construtivos de maior amplitude, e com eles houve a compreensão de que não só as fundações garantem um empreendimento firme. De maneira mais específica, tudo passa por uma gestão adequada e bem rígida. O estudo de materiais aditivos a serem incorporados ao concreto evidenciam suas características, minimizando seus pontos fracos. Portanto, na identificação de materiais que possam elevar sua durabilidade; temos substâncias à base de polímeros, policarboxilatos, cristalizantes à base de silicatos e de polímeros acrílicos que tornam o concreto coeso e duradouro. Obviamente, a questão ambiental é um fator importante quando mencionado no ramo da engenharia, sendo norteado pelos estudos ambientais realizados. O que resulta de todo o estudo, é o cenário amplo e integral do contexto sobre fundações de pontes que passam pelos pontos de estudos prévios; que são variáveis em virtude das mudanças climáticas, tipos de solo, distâncias a serem percorridas e entre outras. A escolha dos materiais, os métodos de construção, o meio ambiente e as consequências decorrentes da instalação da ponte também incorporam o cenário.

Palavras chave: Fundações. Pontes. Meio Ambiente. Gestão.

## ABSTRACT

This work has the objective to emphasize the main construction methods of bridge foundations aiming at greater durability of the concrete from implemented additives that guarantee superior quality of the foundations elements. At the study, was observed the construction methods who has an more usual at the scenario and with them, there was the understanding that not only foundations guarantee a strong build. Specifically, all phases passes for proper and strong management. The study of additive materials to be incorporated into the concrete show the features present on it, minimizing your weakness. So, at the identification of the materials who can elevate the durability of the concrete, we can use elements based on polymers, polycarboxylates, crystallisers based on silicates and acrylic polymers that make concrete cohesive and long-lasting. Obviously, the ambiental question is always targeted when mentioned in the engineering field, being guided by environmental studies carried out. What results from the whole study, is the broad and comprehensive scenario of the context about bridge foundations that pass through the points of previous studies; which are variable due to climate changes, soil types, distances to be covered and among others. The choice of materials, construction methods, the environment and the consequences of installing the bridge also incorporate the scenario.

Keywords: Foundations. Bridges. Environment. Management.



**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>Figura 1</b> - Formas usuais de seções de pilares em fundações de pontes.....	18
<b>Figura 2</b> - Concretagem com o auxílio de tremonha.....	21
<b>Figura 3</b> - Tubulão metálico sendo cravado no leito marinho.....	23
<b>Figura 4</b> - Conjunto de tubulões com bloco de coroamento para sustentação dos pilares....	23
<b>Figura 5</b> - Pilares de sustentação da ponte Rio-Niterói.....	24
<b>Figura 6</b> - Tubulão a ar comprimido.....	25
<b>Figura 7</b> - Caixão fechado sendo transportado até o local da fundação.....	26
<b>Figura 8</b> - Caixão pneumático e seus elementos.....	27
<b>Figura 9</b> - Ilustração de uma câmara de trabalho em um caixão pneumático.....	28
<b>Figura 10</b> - Ensecadeira instalada para execução de reparos em fundação.....	29
<b>Figura 11</b> - Chapas metálicas cravadas no leito com a água drenada.....	29
<b>Figura 12</b> - Procedimento de estacas escavadas.....	30
<b>Figura 13</b> - Esquema de divisão da fundação da ponte.....	31
<b>Figura 14</b> - Caixões da ponte Akashi-Kaikyo.....	34
<b>Figura 15</b> - Ponte de Laguna/SC.....	35
<b>Figura 16</b> - Obras no sistema estrutural das pontes Pedro Ivo e Colombo Salles.....	38
<b>Figura 17</b> - Estrutura danificada na ponte Pedro Ivo Campos.....	39
<b>Figura 18</b> - Bloco de concreto com estrutura interna à mostra.....	39
<b>Figura 19</b> - Ponte Hercílio Luz na década de 60.....	41
<b>Figura 20</b> - Ponte Hercílio Luz após reforma.....	41

## LISTA DE ABREVIACÕES

**EIA** - Estudo de Impacto Ambiental;

**CAA** - Concreto Auto Adensável;

**AEH** - Aditivo Estabilizador de Hidratação;

**SECC** - *Superhydrophobic Cementitious Compound*;

**VMA** - *Viscosity Modifier Additive*;

**CPIV RS 32** - Cimento Portland pozolânico resistente a sulfatos.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2. PROBLEMATIZAÇÃO	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>14</b>
2.1 A IMPORTÂNCIA DE UMA BOA GESTÃO	14
2.2 ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO	15
2.2.1 Impacto Ambiental	17
2.3 DEFININDO A SEÇÃO DOS PILARES EM OPOSIÇÃO À EROSÃO	17
2.4 SOLOS E O IMPACTO NAS FUNDAÇÕES	19
2.4.1 Solo Argiloso	19
2.4.2 Solo Arenoso	19
2.5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS	20
2.5.1 Métodos de Concretagem Submersa	20
2.5.1.1 Tremonha	20
2.5.1.2 Concretagem Injetada	21
2.5.2 Principais tipos de elementos de fundações	22
2.5.2.1 Tubulão	22
2.5.2.1.1 Tubulão a ar comprimido	24
2.5.2.2 Caixões	25
2.5.2.2.1 Caixão Fechado	27
2.5.2.2.2 Caixão Pneumático	27
2.5.4 Ensecadeira	28
2.5.5 Estacas Escavadas	30
2.6 ADITIVOS	31
2.6.1 Plastificantes, Superplastificantes e Impermeabilizantes.	32
2.6.2 Concreto Auto Adensável	33
2.6.4 SECC	35
2.6.5 Modificadores de Viscosidade	36
2.7 INSPEÇÕES	36
2.8 MANUTENÇÕES E REPAROS	37
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>42</b>
<b>4. REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em toda construção civil, por pressuposto, deve-se ter um fundamento, um alicerce para que todo o empreendimento seja edificado de maneira firme e inabalável. Com relação às pontes, não é diferente. Elas são de grande importância na engenharia, pois ficam em contato direto com a água. Portanto, precisam de cuidados constantes para evitar a abrasão do concreto e fazer com que a durabilidade do material utilizado aumente exponencialmente. O problema que muitos engenheiros encontram é justamente o dano ao material utilizado, a ferrugem e o sal da água, visto que é um local de alta agressividade. Estaremos estudando como aprimorar a resistência dos materiais, visando longos períodos e abordando quais métodos construtivos terão uma eficácia consistente focando na durabilidade da estrutura. Relacionando esses métodos, vamos elaborar um estudo de materiais finos a serem misturados ao concreto, tendo assim um resultado final de como devemos prosseguir e atuar na construção de elementos subaquáticos.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Conscientes que as pontes são de grande importância para a engenharia, ficando em contato direto com a água. As mesmas necessitam de cuidados constantes para evitar a abrasão do concreto e fazer com que a durabilidade do material utilizado aumente exponencialmente.

Foi pensando nestes danos que procuro relacionar métodos de construção das fundações, uma vez que seja um local de agressividade classe IV, o concreto não deve se misturar à água, tendo assim, uma coesão de grãos (os grão precisam se encaixar, os menores nos espaços livres dos maiores). Especificando quais materiais finos são os mais adequados para adicionar ao concreto, como fíler calcário, metacaulim, sílica ativa e entre outros, levando em consideração a baixa permeabilidade que o concreto deve ter. Conectando alguns métodos construtivos, juntamente com o concreto submerso (aplicado na presença de água doce ou salgada, com tubulões, barragens ou estruturas submersas) e quais cuidados de manutenção o engenheiro deve tomar para que se prolongue a vida útil dessas estruturas.

## 1.2. PROBLEMATIZAÇÃO

Criar conexões é de suma importância para o homem, pois encurtam distâncias e otimizam o tempo, que passa muito rápido, tornando-o uma raridade nos dias atuais. Portanto, a construção desses elementos de ligação é uma forma de intensificar e aperfeiçoar o que temos de mais valioso atualmente.

As pontes, historicamente, são estruturas antigas cujos povos da antiguidade já se utilizavam desta técnica para unir lugares e pessoas. Porém, é claro, em uma escala muito menor de tamanho, resistência e tecnologia.

Os problemas causados pelas regiões marítimas aos elementos de fundações de pontes podem gerar inúmeros infortúnios se ignorados ou não vistoriados regularmente. O concreto é corroído e as barras de ferro expostas, soando um alarme para que a reforma seja iniciada imediatamente.

Deste modo, na elaboração deste trabalho, estarão prescritos, em efeito, as atribuições decorrente de uma boa gestão, e o que ela implica na relação dos métodos construtivos e os aditivos a serem adicionados ao concreto visando potencializar a durabilidade do concreto, conseqüentemente, a ponte como um todo.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Ampliar a qualidade do concreto em contato com a água aumentando sua durabilidade e resistência.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Relacionar métodos construtivos das fundações;
- Realizar um estudo sobre os materiais finos a serem adicionados juntamente ao concreto;

- Identificar qual tipo de aditivo é o mais eficaz para ampliar a durabilidade do concreto;
- Promover o menor impacto ambiental.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido e formado por 4 capítulos, onde o primeiro busca apresentar de maneira breve a introdução e a justificativa da escolha pelo tema. Também através deste capítulo é demonstrado os objetivos, problematização e estrutura em que o trabalho foi desenvolvido.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, onde é repassado os conhecimentos acerca de métodos construtivos das fundações, aditivos de concreto, e a importância de uma gestão qualificada; que denota uma grande parcela nos campos de engenharia de pontes.

Já no terceiro capítulo, é possível conferir as considerações finais acerca dos pontos tratados no trabalho, e esclarecimentos de objetivos traçados em seu princípio.

Por fim, o capítulo quatro serve de base para este trabalho, pois estão lá todos os campos de pesquisa e teses de sustentação das ideias apresentadas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente trabalho faz um estudo de métodos construtivos de fundações de pontes visando avaliar quais materiais podem prolongar a vida útil dessas estruturas.

### 2.1 A IMPORTÂNCIA DE UMA BOA GESTÃO

Temos na região sul do Brasil dois exemplos muito evidentes do que a falta de manutenção e a má gestão na construção de sua estrutura pode gerar de perigo à população. Falo da ponte Pedro Ivo Campos e Colombo Machado Salles, em Florianópolis, as duas de 28 anos. São pontes relativamente novas e já apresentam sérios problemas em seu sistema estrutural, justamente pela falta de aditivos e por possuírem um concreto mais permeável, fazendo com que a situação destas pontes se tornem críticas, deixando claro que manutenções deveriam ter sido feitas, já que as ferragens de aviso estão expostas. Uma questão a ser considerada é o tipo de solo da região (muito arenoso) fazendo também com que a necessidade de estudos geotécnicos sejam fundamentais a fim de evitar ainda mais danos à estrutura, agravando ainda mais a situação, pois a vulnerabilidade à abrasão e corrosão do aço e do concreto são grandes. Vemos aí a importância de se utilizar materiais adequados e de se realizar vistorias em pontes na região.

Sabemos que essas estruturas são elementos de ligação que beneficiam o transporte de maneira geral em todos os seus modais, possuem uma parcela significativa na manutenção de um país, considerando que muitos lugares estão ligados por pontes, vemos o quão importante é manter estas estruturas saudáveis, podendo então perceber que a construção desses elementos, alteram tanto o fluxo de água, como o solo, podendo afetar também os transportes aquático e terrestre.

De maneira em que avançamos na história, o homem começa a expandir seus territórios e buscar novos horizontes, com essa busca, nos deparamos com novos desafios a serem superados, novas distâncias a cobrir, e outros lugares a conectar devido aos laços criados. A tecnologia, que está sempre em evolução, denota a necessidade de se adequar às diversas situações que podemos nos deparar ao construirmos fundações e estruturas ligadas à água. A utilização de cimentos especiais, como por exemplo, o Silimax, onde o uso dessa

tecnologia se refere a um ambiente que possui uma agressividade muito alta e que necessita de um rigoroso controle de retração com baixo calor de hidratação, exemplificando que a tecnologia usada deve sempre estar a nosso favor, evoluindo e nos dando oportunidades de inovar e manter cada empreendimento, trabalhando da melhor forma possível.

A importância econômica também está presente na gestão de uma construção próspera, e se caracteriza no âmbito custo-benefício, sendo necessário a avaliação e criação de planilhas com materiais e equipamentos a serem utilizados em cada obra, com informações e valores para cada item. Analisando e executando, primordialmente, da maneira mais segura e econômica, o que nem sempre sugere que menos material a ser utilizado nas estruturas de fundações seja a opção com melhor custo-benefício, sabemos que com cálculos mais detalhados podemos chegar a resultados mais precisos, ao invés de saturar a estrutura com ferragens e concreto, variando também para cada situação, onde em algumas delas, menos é mais.

Tendo em vista, que a vida na terra depende do meio ambiente e visando tudo o que há de mais precioso, podemos assim destacar a fauna e flora aquática. Neste tema, é necessário ter a consciência de que o trabalho realizado nessas regiões cause o menor impacto possível. Através dos estudos ambientais (EIA), interpretamos qualquer alteração significativa das propriedades físicas, químicas e biológicas, que por interferência humana afetam a qualidade de vida, saúde, fauna, flora, qualidade de recursos ambientais e sua biota (conjunto de seres vivos), entendendo as vantagens e desvantagens da implantação de projetos e as consequências que a estrutura poderá trazer à região.

## 2.2 ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO

Assim como, terrenos com diferenças de níveis devem ser evitados; trechos em curvas devem ser avaliados, para adquirir uma compensação estrutural em função de uma erosão mais acentuada remediada em cálculo. Visto, que nessas situações ocorre erosão na margem externa e acúmulo sedimentar na margem interna. Portanto, considerar executar fundações em níveis de cota apropriadas e considerar a profundidade de erosão é muito importante a fim de se evitar quantidade excessiva de reforços estruturais que também pode ser prejudicial à estrutura causando solapamento de margens e até recalques na estrutura principal da ponte.



Dentro deste estudo, uma referência para a coleta de dados está na ponte Rio-Niterói. A escolha do local dentro da baía seguiu critérios técnicos, de segurança e econômicos. A extensão da ponte deveria percorrer a menor distância possível com o menor gasto. O leito deveria ser adequado às fundações, e as ondas, marés e ventos não interferissem na segurança dos automóveis.

O estaqueamento dos pilares em grandes profundidades, usualmente, podem ser por estacas ou tubulões, sendo as mais comuns de concreto armado, pré-moldado, tipo Franki, estacas hélices e metálicas, que podem chegar a profundidades maiores. Os tubulões podem ser de ar comprimido, caracterizados também por serem elementos de fundação do tipo profunda.

A capacidade de carga de uma fundação profunda é testada por métodos estáticos ou por provas de carga. Resultando na carga admissível, estimativa de recalque, esforços por força horizontal, distribuição no bloco de fundação e problemas como flambagem dos pilares. Por isso, não é possível que apenas uma estaca seja necessária para suportar todos os esforços da estrutura, existe a necessidade de se projetar um grupo de estacas ou bloco de estaqueamento, considerando também a capacidade de carga de apenas uma estaca fazendo parte de um grupo. Tendo isso em mente, um projeto de fundação de ponte deve ser norteado nos seguintes pontos:

- Segurança adequada à ruptura do solo ou rocha de fundação;
- Segurança à peça estrutural que transmite a carga ao solo;
- Segurança no tombamento e deslizamento do conjunto da ponte;
- O recalque resultante do carregamento do solo de fundação deve ser admissível para a ponte na perspectiva:
  - Do sistema estrutural;
  - Do seu uso (tráfego);
  - De sua aparência.
- Deve ter condições de ser executada com segurança (escavação e rebaixamento do nível d'água).

### 2.2.1 Impacto Ambiental

O estudo de implantação deve estar amplamente ligado com o EIA - Estudo de Impacto Ambiental -, já que a instalação de uma ponte está diretamente relacionada ao meio ambiente. O impacto ambiental em atribuição aos elementos da ponte é constituído por qualquer modificação de ciclos ecológicos dos diversos ecossistemas presentes. Essa modificação pode gerar impactos positivos e negativos ao meio. Obviamente, a implantação de uma ponte acarreta benefícios a um conjunto de cidades e rodovias, conseqüentemente, à população. Também economicamente no desenvolvimento de empregos para a construção deste elo.

Para cada efeito sobre o meio ambiente, deve-se haver uma medida potencializadora mitigadora para minimizar seu efeito, caso seja constatado de maneira negativa. Valendo ressaltar, que obras de grande porte quando vem com cuidados e estudos necessários sobre o local acabam tendo um importante efeito na manutenção do meio ambiente local, protegendo, claro que não de maneira total, mas parcialmente a biodiversidade local.

Assim, cabe ao órgão gestor e responsáveis cuidar para que empreendimentos sejam avaliados a fim de conhecer quais os danos que o mesmo pode causar ao meio, sendo imprescindível, agredir o mínimo possível. Com isto, antes mesmo de se iniciar qualquer movimentação em prol da construção, se faça um estudo esmerado da área no sentido de amenizar suas conseqüências.

### 2.3 DEFININDO A SEÇÃO DOS PILARES EM OPOSIÇÃO À EROSÃO

Em primeiro lugar, devemos averiguar a erosão local e o que isso pode nos oferecer. Ou melhor, nos privar de ter uma obra de qualidade, dependendo das seguintes variáveis:

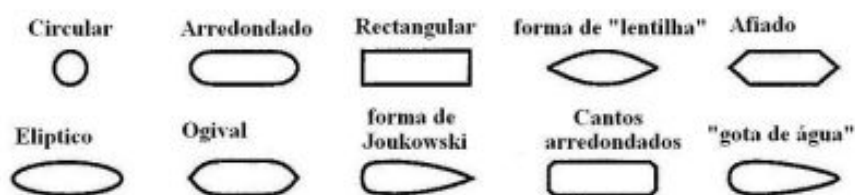
- Largura, comprimento, forma e alinhamento dos pilares;
- Velocidade e profundidade do escoamento da corrente;
- Tipo e tamanho do material do leito;
- Taxa de transporte sedimentar do leito;
- Detalhe da fundação da ponte.

Conhecendo as variáveis que o local apresenta, é aconselhável que se faça uma relação simplificada em ensaios com modelo para dar uma ideia da maior erosão que possa ocorrer. Dividindo esses fatores em pilares de seção circular e de seção qualquer, analisamos alguns pontos para seção circular: profundidade, tipo de material, se ocorre transporte sedimentar (tamanho médio das partículas), velocidade de escoamento, profundidade de erosão local, entre outros.

Pilares de seção não circular que podem não estar alinhados com a corrente aquática, apresentam um ângulo de ataque mais suscetíveis a erosão, esse ângulo dispõe de um fator que considera um fluxo oblíquo para a corrente.

Os pilares da ponte devem ter forma que facilite o escoamento das águas: retangular, circular, e retangular com arestas arredondadas, conforme a Figura 1. Existindo também uma regra geral, que porquanto maior o vão de água, mais alto são os pilares e mais profunda é a fundação.

**Figura 1:** Formas usuais de seções de pilares em fundações de pontes.



Fonte: VITÓRIO, 2015.

Na Figura 1 temos as seções de pilares mais usuais, dando destaque para as seções de forma que facilite o escoamento das águas, preferencialmente, redondos ou com arestas arredondadas; caso estas estejam em contato com a água.

O modo mais competente de minimizar o índice de erosão em pilares de fundação ainda se encontra na fase de projeto, tomando iniciativas a partir de estudos geotécnicos, hidrológicos e estruturais. O comprimento da ponte, a forma, a localização de seus pilares e a distribuição de seus apoios indicam o grau de erosão, tanto para mais quanto para menos. Quanto mais comprida, obviamente, mais pilares e elementos de fundação serão instalados e a forma dos pilares influencia no desgaste das arestas em função da seção escolhida e a localização dos pilares indica o local exato onde os pilares e fundação serão instalados no decorrer da ponte.

## 2.4 SOLOS E O IMPACTO NAS FUNDAÇÕES

### 2.4.1 Solo Argiloso

Os tipos de solo fazem grande diferença no estudo das fundações. A análise de um grupo de estacas mostram que os valores da resistência de um grupo de estacas trabalhando por atrito em argila pode ser menor do que a capacidade de carga individual de uma estaca pelo número de estacas neste grupo. Visto que a relação deste valor ocorre pela superposição de bulbos de pressão em volta de cada estaca. Esse tipo de solo pode causar recalques maiores de até duas vezes do previsto em projeto.

### 2.4.2 Solo Arenoso

Em solos arenosos é ainda mais complicado, pois os recalques da estrutura podem ser maiores que quatro vezes o previsto, devido a variação do peso específico fazendo uma compactação da areia com aparecimento de tensões residuais, que são as tensões elásticas presentes em um corpo sem a existência de condução externa ou gradiente de temperatura, contribuindo para o alívio de tensões. Reduzindo as propriedades de resistência e aumentando a compressibilidade do terreno, fazendo cair a resistência em cerca de  $\frac{1}{3}$  na cravação em areia. Em solos residuais podem ocorrer problemas com deslizamentos, solos com blocos de rocha ou pedregulho antes do firme ou rocha sã provocam interrupções na cravação das estacas, o que nos dá incerteza sobre a cota de apoio dos tubulões.

Vimos que solos são instáveis e dificilmente são bem definidos antes da construção, sofrendo com problemas de comportamento durante a execução do projeto, especialmente nos casos de fundações profundas como estacas cravadas e escavadas. Pensando na situação mais desfavorável de carga vertical e horizontal, podemos majorar em até 30% os valores das tensões admissíveis no terreno e as cargas nos tubulões e estacas.

Na escolha do sistema de fundação, o engenheiro faz uma análise de desempenho estrutural, funcional e estética. Porém, para estudar o desempenho da ponte como um todo, deve-se observar pontos que interfiram de maneira direta nesta funcionalidade, além das

fundações projetadas, terreno e condições de construção, temos a superestrutura e pilares da ponte. A superestrutura corresponde à parte localizada na porção superior, responsável por transmitir as cargas horizontais à mesoestrutura. Conseqüentemente, a escolha do sistema de fundação resulta de uma série de fatores ou variáveis, e somente em casos muito raros essas condições não dependem uma da outra:

- Estrutura;
- Solo ou rocha de fundação;
- Fundação;
- Espaço ambiental;
- Condição de construção.

## 2.5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Existem diferentes tipos de métodos construtivos para essas estruturas submersas, nesta etapa, serão relatados os mais usuais e de grande valia para esta pesquisa, valendo ressaltar que não é toda a estrutura que fica coberta pela água, mas parte dela. Sendo assim, os pilares que ficam acima da água, sabendo que a maré possui movimentação, ora está mais acima, ora mais abaixo. Faz com que haja um desgaste muito grande do concreto se não utilizarmos um material de alta resistência, o que pode gerar patologias e corroer a armadura da estrutura em função de carbonatos e cloretos presentes na água.

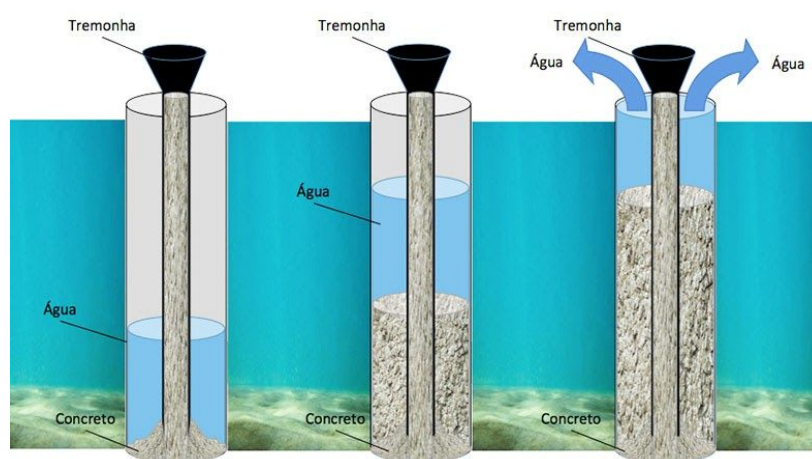
### 2.5.1 Métodos de Concretagem Submersa

#### 2.5.1.1 Tremonha

A concretagem submersa aplica o produto diretamente na fôrma, sendo ela de madeira ou ferro, com o auxílio de uma tremonha, como na figura 2. Essas fôrmas quando de madeira, são retiradas após a finalização, já as de ferro podem ser deixadas junto aos pilares estruturais para ganho de sustentação. O concreto preenche as formas até transbordar, evitando a contaminação da estrutura com a primeira camada do material. (SALDANHA, 2016). Essa técnica começou a ser vista no Brasil quando houve a construção da ponte Rio-Niterói.

Em determinados casos é necessário o auxílio de mergulhadores, como na eventualidade de se usar concreto lançado por tremonha, precisando ser moldado com grande facilidade sem se romper, havendo uma forte coesão dos grãos presentes na mistura, apresentando também excelente homogeneidade, resistência, durabilidade e grande facilidade de ser bombeado. Os mergulhadores trabalham em função de evitar que hajam vazamentos dentro das fôrmas, acompanhando o tempo de injeção e lançamento de concreto, sendo igualmente necessário fazer o controle da retirada da tremonha. O concreto pré-moldado também pode ser usado, reduzindo o trabalho embaixo d'água visto que existe um tempo para ficar submerso, limitado pela mão de obra e equipamentos.

**Figura 2:** Concretagem com o auxílio de tremonha.



**Fonte:** Mapa da Obra, 2016.

Observando a Figura 2, é possível examinar de que modo a tremonha auxilia na concretagem, sendo uma espécie de guia para a passagem até o fundo do molde, que faz com que a água seja expulsa a medida que as formas ficam cheias com o concreto.

#### 2.5.1.2 Concretagem Injetada

Um método que é muito utilizado em partes rasas, rios ou praias, em construções de *piers* ou outra estrutura submersa, é a concretagem injetada, onde as formas recebem brita e ferragens e é injetado por pressão a nata de cimento pura nos espaços da brita. Após a retirada das fôrmas, a aparência da estrutura é como uma peça de mármore, sem vazios algum, o que torna essa estrutura mais durável, pois não existe contato da água com as ferragens. Esse

método também pode ser usado no reparo de estruturas e estacas submersas que sofreram alguma interferência marítima. (MAPA DA OBRA, 2016). Nos sistemas de injeção ainda existe uma linha chamada MC-Injekt que recupera e sela trincas juntamente com um cristalizante que pode ser adicionado ao concreto, impermeabilizando-o e o tornando mais duradouro desde o começo. (IBRACON, 2014).

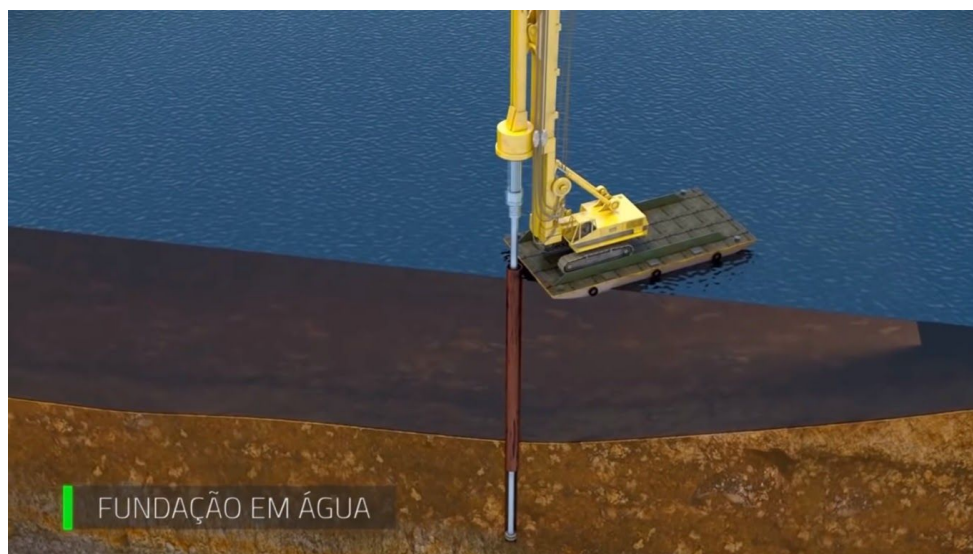
Normalmente, os pilares de pontes ficam acima da água - o tipo mais comum dessas construções - existem alguns métodos mais utilizados para as fundações: por tubulões, caixões e enscadeiras. Porém, é importante conhecer outras maneiras de se fazer concretagem submersa, pois será neste momento em que vamos sentenciar a vida útil da nossa construção.

## 2.5.2 Principais tipos de elementos de fundações

### 2.5.2.1 Tubulão

Tubulões apresentam uma série de vantagens, suas escavações atravessam solos com pedras e matacões, e é possível que se apoie cada pilar em um tubulão, tornando dois elementos em um. Em particular, são tubos metálicos cravados no leito com seu interior escavado mecanicamente ou de forma manual em casos específicos. Como na Figuras 3 e 4, a concretagem é feita de baixo para cima a fim de retirar toda a água presente no tubo para que seja preservado seu interior seco. Em determinado ponto, sua base pode ou não ser alargada para que fique mais firme no alicerce. Então é colocado as ferragens da estrutura e preenchida com concreto, e sobre ela é feito um bloco que servirá de apoio para os pilares de sustentação ao tabuleiro da ponte. Um exemplo é a ponte Rio-Niterói, que se utilizou de tubulões para executar suas fundações.

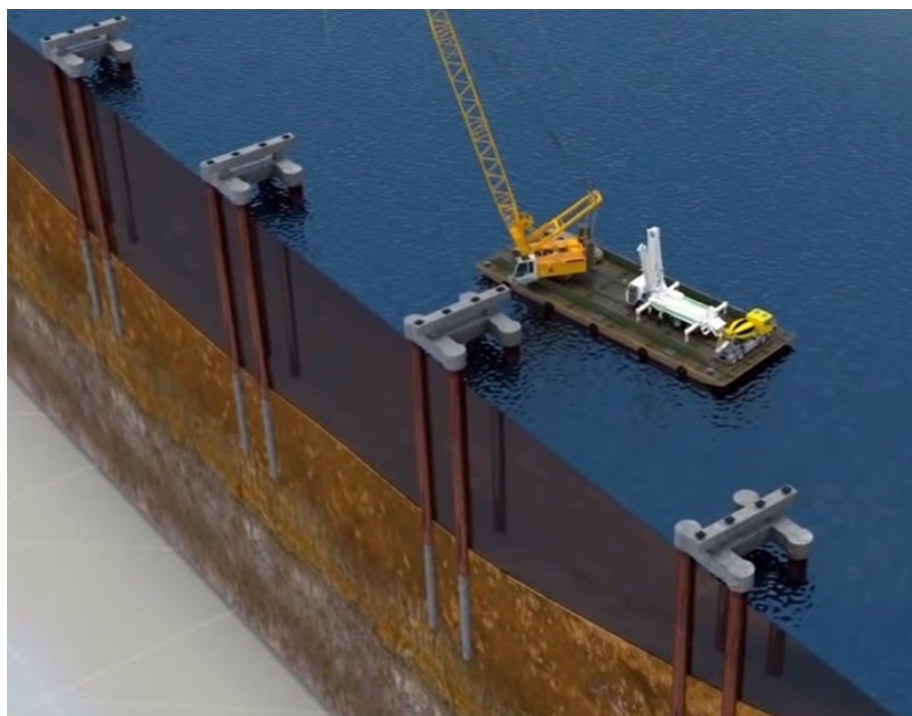
**Figura 3:** Tubulão metálico sendo cravado no leito marinho.



**Fonte:** O Canal da Engenharia, 2020.

Podemos ver nesta imagem a balsa no local a ser executado as fundações, juntamente com a camisa metálica, vulgo tubulão, fazendo a cravação no leito marinho mecanicamente para ser preenchido com concreto. Neste exemplo em específico não temos sua base alargada, porém, é amplamente utilizado para dar ainda mais firmeza na transferência dos esforços.

**Figura 4:** Conjunto de tubulões com bloco de coroamento para sustentação dos pilares.

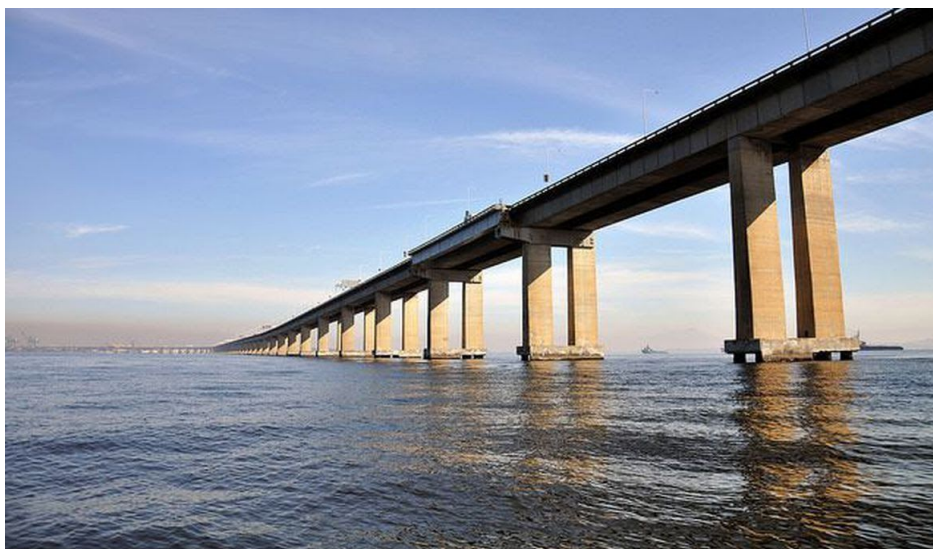


**Fonte:** O Canal da Engenharia, 2020.



A imagem apresenta um conjunto de tubulões já escavados e concretados sem a presença da base alargada e com o bloco de coroamento na parte superior acima da água, pronto para receber os pilares da ponte, esboçado na Figura 5.

**Figura 5:** Pilares de sustentação da ponte Rio-Niterói.



**Fonte:** Vitor Abdala, 2018.

Presente na Figura 5, estão os pilares de seção retangular, que visivelmente, estão presentes acima da água. Neste caso, não influenciam no escoamento marinho, ou seja; não sofrem erosão diretamente pelo contato com água.

#### 2.5.2.1.1 Tubulão a ar comprimido

Ainda existe tubulão a ar comprimido, que são utilizados quando necessito fazer uma perfuração em solos em que haja água. É importante verificar se o equipamento utilizado para fazer a compressão e a descompressão está trabalhando nas pressões corretas, pois a pressão máxima de ar comprimido é de 340 kPa, sendo baixa e limita a profundidade da tubulação a 30 m abaixo do nível do mar. Tudo isso para que os operários possam trabalhar sob o efeito de ar comprimido com segurança. A Figura 6 nos mostrará a cerca do equipamento de pressurização.

**Figura 6:** Tubulão a ar comprimido.



**Fonte:** Roca, 2017.

A Figura 6, representa o equipamento utilizado na técnica de tubulão a ar comprimido, auxiliando na remoção da água do solo, quando presente.

#### 2.5.2.2 Caixões

São estruturas que como o próprio nome já diz, grandes caixas quadradas ou retangulares executadas na superfície feitas de aço ou de concreto armado, servindo de proteção para que o terreno seja escavado, não permitindo que ocorra a passagem da água, terra ou qualquer outra substância. São subdivididos em caixões pneumáticos, abertos ou fechados, onde nosso foco estará nos pneumáticos e fechados, já que caixões abertos se utilizam em ambientes secos. São produzidos à margem da água, ou sobre flutuadores e rebocados por uma balsa até o lugar da fundação, onde serão imersos. Depois de submergidos até uma camada resistente do solo, ocorre a escavação e tubos internos fazem a retirada da lama do leito, possibilitando a introdução da estrutura no solo, Quando adquire a profundidade exata, se faz a drenagem da água presente no interior do caixão, aí sim é preenchido totalmente pelo concreto para transmitir as cargas ao solo através da base. Os pilares são edificados da mesma forma que os tubulões, sendo assim, um método de fundação profunda. São elementos sub-estruturais.

**Figura 7:** Caixaão fechado sendo transportado até o local da fundação.



**Fonte:** O Canal da Engenharia, 2020.

Presente na Figura 7, temos um caixaão de segmento fechado, em sua base. É usado maioritariamente, em construções aquáticas.

Na execução de fundação do tipo caixaão, deve-se atender a algumas características:

- a) Cotas de apoio e arrasamento;
  - Cota de apoio: não deve ser influenciada pelas estações e eventos climáticos
  - Cota de arrasamento: nível que se deve deixar o topo da estrutura, podendo ser demolido o restante em excesso.
- b) Dimensões reais da base alargada;
- c) Material de apoio;
- d) Equipamento usado nas várias etapas;
- e) Deslocamento e desaprumo (inclinação);
- f) Consumo de material durante a concretagem e comparativo com o volume previsto em projeto;
- g) Qualidade dos materiais;
- h) Anormalidade de execuções e soluções;
- i) Inspeção por profissional responsável do terreno.

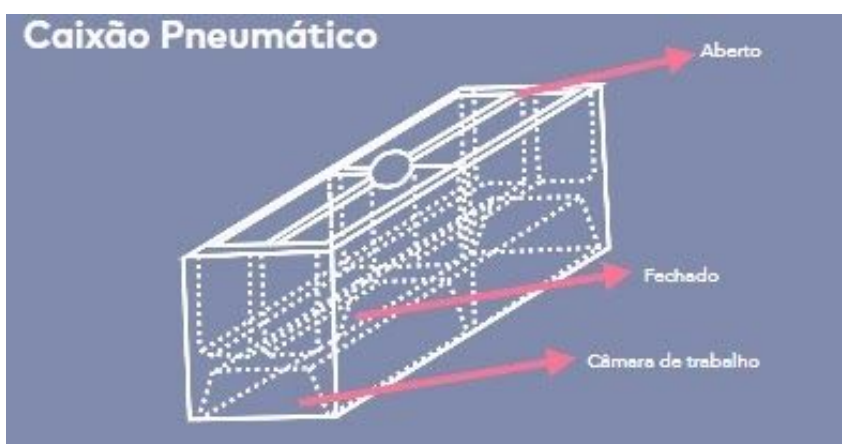
### 2.5.2.2.1 Caixaão Fechado

É muito semelhante ao caixaão do tipo aberto, sendo diferenciados apenas pela parte inferior do caixaão, característica esta que remete ao seu nome. É usado quase que exclusivamente nas obras marinhas, e seu processo de produção, deslocamento e funcionamento estão descritos no item anterior.

### 2.5.2.2.2 Caixaão Pneumático

Caixaões pneumáticos apresentam alguns outros elementos a mais que os anteriores, pois é acrescido de uma câmara de trabalho quase em sua base. É uma estação de trabalho ligada a superfície com um compartimento circular onde se fixam câmaras de compressão, ilustrado nas Figuras 8 e 9. Após submergido, é feito um sistema para que ocorra a entrada de ar na parte interna do caixaão. Por compressão, a água é bombeada para fora do caixaão, tornando seu interior seco. Na câmara interna, que tem ligação com a superfície, trabalhadores fazem a escavação ou qualquer outro serviço necessário. São utilizados em profundidades de cerca de 50m. Após realizado todas a etapas de secagem interior, reparos ou outros serviços, ele é preenchido pelo concreto para dar início a base da ponte.

**Figura 8:** Caixaão pneumático e seus elementos.



**Fonte:** ROZA, 2019.

**Figura 9:** Ilustração de uma câmara de trabalho em um caixão pneumático.



Fonte: ROZA, 2019.

#### 2.5.4 Ensecadeira

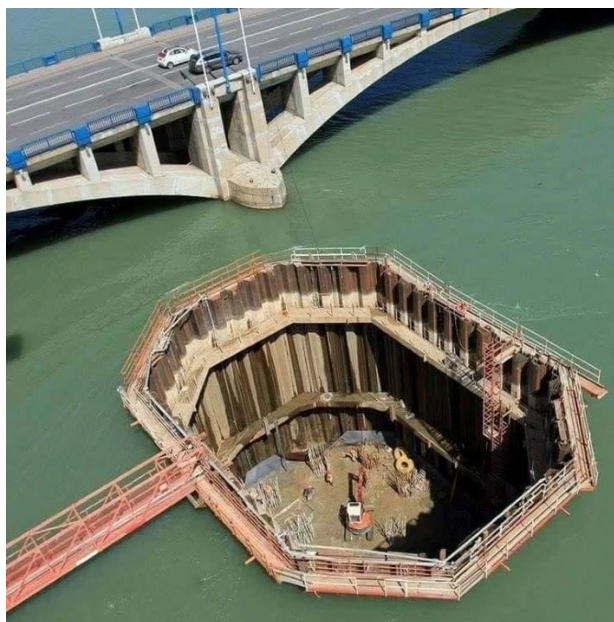
É executado através de contenções de pranchas metálicas cravadas no leito e em volta do local de onde se deseja construir, ou executar reparos em fundações já existentes, exemplo presente na Figura 10. São feitas com encaixes para vedar a passagem de água. São temporárias porque ficam fixadas em todo o processo executivo, sendo desmontadas e levadas ao próximo trecho de construção. A água é drenada para fora da área de retenção sendo unicamente possível a utilização deste método apenas em baixas profundidades porque necessita ser uma estrutura leve, resistente e de fácil execução, como na Figura 11.

**Figura 10:** Ensecadeira instalada para execução de reparos em fundação.



**Fonte:** FORTE, 2017.

**Figura 11:** Chapas metálicas cravadas no leito com a água drenada.



**Fonte:** O Canal da Engenharia, 2020.

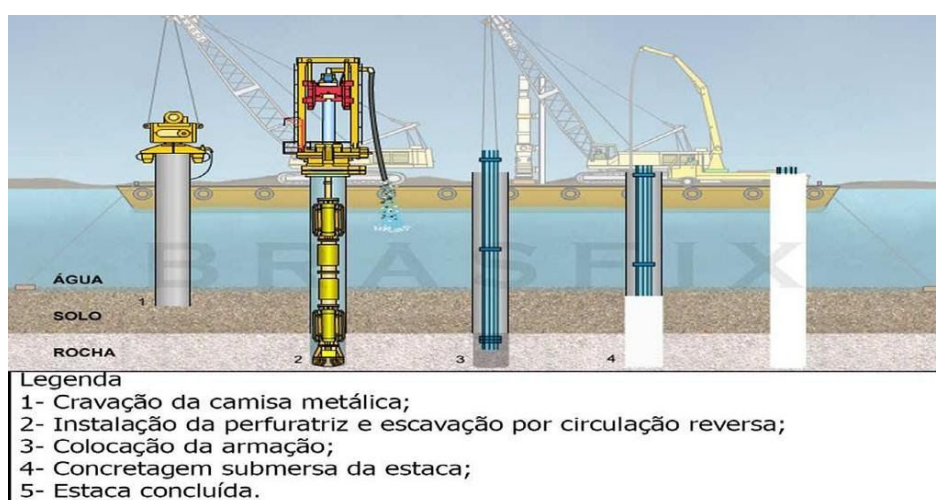
A Figura 11, em particular, nos chama atenção de fato pela parte visual, de forma esdrúxula, um buraco no meio da água. Sendo muito eficaz na construção de fundações porque nos proporciona um ambiente muito apropriado sem a influência da água. Na imagem vemos até uma retroescavadeira no fundo da ensecadeira, uma espécie de tapume provisório, nos dando uma dimensão de seu tamanho.

### 2.5.5 Estacas Escavadas

É um método que foi utilizado nas fundações da ponte de Laguna, em Santa Catarina, Figura 12. Grande obra que contou com outras inovações na construção de suas aduelas e elementos da superestrutura. O funcionamento do método é explicado pelo próprio engenheiro responsável pela execução da obra; Mauro Morales: “A infraestrutura dessa obra será feita com estacas escavadas. Cada uma possui dois metros de diâmetro, ela é um tubo de revestimento da escavação, portanto, ela não é estrutural. A estaca é cravada no solo em uma profundidade entre 50 e 60 metros, até alcançar a rocha. Dentro desta estaca é colocado o concreto”. A execução das estacas se valeram da utilização de perfuratriz provida de sistema de sistema de circulação reversa com *air lift*. Conforme Figura 12.

O *air lift*, é um mecanismo muito difundido no nicho de fundações especiais, que tem funcionamento de acordo com que a água seja distribuída verticalmente em tubos, utilizando o ar comprimido. Se o ar for adicionado em grandes volumes ocorre o aumento do fluxo com velocidade suficiente para transportar sólidos, o que viabiliza o método para grandes profundidades (RAMOS, 2019).

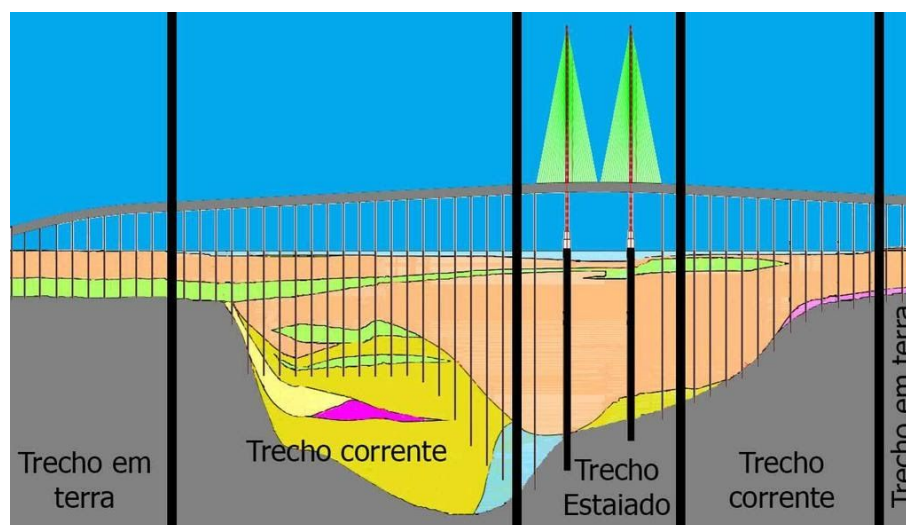
**Figura 12:** Procedimento de estacas escavadas.



Fonte: RAMOS, 2007.

A Figura 13 representa um esquema de divisão da fundação da ponte, na qual esta técnica relatada usada nos trechos corrente e estaiado.

**Figura 13:** Esquema de divisão da fundação da ponte.



Fonte: RAMOS, 2019.

## 2.6 ADITIVOS

Já falamos sobre alguns tipos de fundações que o engenheiro responsável pode optar para atender as necessidades do estudo feito no local e identificar qual método é, definitivamente, o que trará os melhores resultados, lembrando de que se deve causar o menor impacto possível na fauna, flora e bioma do local. Vamos a partir deste ponto discorrer sobre os tipos de aditivos finos e materiais que podemos adicionar ao concreto e elevar o tempo de vida útil da estrutura a ser construída.

Os aditivos finos que podem ser adicionados ao concreto para aumentar sua resistência e durabilidade podem ser incorporadores de ar, plastificantes ou redutores de água, superplastificantes, modificadores de pega e modificadores de viscosidade. Esses materiais devem ser escolhidos cuidadosamente, visto que alguns materiais são reativos, podendo causar um processo de deterioração nas estruturas. Para o combate contra essa situação, é necessário efetuar estudos e realizar ensaios desses materiais antes da construção. Verificando se existe alguma chance de que ocorra essa reação, usamos neutralizadores como a sílica ativa, para garantir a durabilidade do concreto.

Os aditivos finos que podem ser adicionados ao concreto para aumentar sua resistência e durabilidade podem ser incorporadores de ar, plastificantes ou redutores de água, superplastificantes, modificadores de pega e modificadores de viscosidade. Os agregados



devem ser escolhidos cuidadosamente, visto que alguns materiais são reativos, podendo causar um processo de deterioração nas estruturas. Para o combate contra essa situação, é necessário efetuar estudos e realizar ensaios dos agregados antes da construção. Verificando se existe alguma chance de que ocorra essa reação, usamos neutralizadores como a sílica ativa, para garantir a durabilidade do concreto.

Para a permeabilidade do material, visto que seja este um dos principais pontos de nossa pesquisa, devemos sempre buscar a relação de porosidade, tendo o mínimo possível de poros presente no concreto, pois são eles os principais responsáveis pela entrada de água e de agentes degradantes da estrutura. Portanto, quanto menor o número de poros, maior a durabilidade e qualidade do concreto.

Em resumo, os aditivos são materiais que como o próprio nome já diz, são adicionado ao concreto com a finalidade de ampliar suas qualidades e minimizar seus pontos fracos, admitindo também que a característica mais evidente do concreto é a resistência à compressão. Uma curiosidade histórica sobre os aditivos é acerca dos relatos de povos como os romanos e incas que já se utilizavam de técnicas que beneficiam as misturas e sua trabalhabilidade, como sangue, clara de ovo, banha ou leite. Os agregados também possuem sua função no concreto, sendo eles miúdos, graúdos, artificiais ou naturais, leves, normais ou pesados (TECNOSIL, 2017). A qualidade dos aditivos também nos dá a certeza de que o concreto será muito virtuoso, pois “O emprego de muitos tipos de aditivos pode aumentar significativamente a vida útil das estruturas de concreto, reduzindo o número de intervenções de reparo que seriam feitas”, diz o engenheiro Mario Sérgio Guilge, da empresa Hagen.

#### 2.6.1 Plastificantes, Superplastificantes e Impermeabilizantes.

Visando uma maior durabilidade do concreto, podemos ter os plastificantes e superplastificantes, já existindo esses materiais a base de nanosílica, trazendo benefícios tanto para seu estado fresco quanto endurecido (TECNOSIL, 2017). A relação destes materiais com o cimento provoca uma reação de repulsão eletrostática, que é quando dois corpos de sinais de carga iguais se repelem, portanto essas partículas se apartam uma das outras, ficando espalhadas pelo concreto. Os superplastificantes além de dar uma maior durabilidade à massa, também auxiliam no bombeamento, resistência e possuem grande homogeneidade justamente pelo resultado da repulsão dos materiais. A ideia principal dos exemplos a serem adicionados

é evidenciar esse aumento na durabilidade do material, virtude que os plastificantes e principalmente os superplastificantes nos proporcionam.

O concreto celular, que impede a perda de calor, executado com aditivo surfactante incorporador de ar apresenta característica impermeável, juntamente com cristalizantes à base de silicatos e de polímeros acrílicos, reduzindo a relação água-cimento. O que pode servir de exemplo com o uso de substâncias com essas propriedades está na ponte Akashi-kaikyo, no Japão, que resistiu a um abalo sísmico durante sua construção. O que torna a situação ainda mais curiosa, é o fato de que em decorrência do tremor, dispôs de um aumento no intervalo dos pilares em aproximadamente um metro e ainda assim se manteve sobre o mar com a contribuição dos superplastificantes utilizados no concreto. (BLOG DA LIGA, 2017).

#### 2.6.2 Concreto Auto Adensável

Vale ressaltar que essa ponte em específico, se valeu da utilização de CAA, que possui elevado abatimento, obtido através do *Slump test* (teste feito *in loco* para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico) sendo diferenciado do concreto tradicional apenas pela alteração da dosagem de material padrão, sendo compensado pela adição de superplastificantes, modificadores de viscosidade e adições minerais finais. Não carece de vibradores para se ajustar nas formas, sendo muito fluido e resistente. É a solução para aduelas pré-moldadas, por ser muito rápido, se molda com grande facilidade nas formas de maneira fluida, muito coeso e com resistência a segregação dos grãos.

A ponte citada, a Akashi-Kaikyo, ainda servirá de exemplo se olharmos para o método de sua fundação, utilizando caixões, venceu uma profundidade de 60m. A estrutura desses caixões foram de 70m de altura e 80m de largura com parede dupla, esse vão entre as paredes preenchido com ar fez com que o caixão pudesse flutuar até a posição correta e em seguida inundado pela água do mar, fazendo com que o caixão afunde na região exata (ROZA, 2019). O caixão é preenchido com concreto especial, expulsando a água da estrutura e quando totalmente ocupado pelo concreto especial, uma tampa de concreto fecha a estrutura que fica pronta para receber os outros elementos estruturais da ponte. Na figura 14 temos um exemplo de como ficam localizados os caixões na estrutura da ponte.

**Figura 14:** Caixões da ponte Akashi-Kaikyo.



**Fonte:** O autor, 2020.

Caixões de 70m de profundidade e 80m de largura utilizados na ponte Akashi-Kaikyo para vencer uma profundidade próxima de 60m de água. É o maior vão livre suspenso do mundo (FILHO, 2003).

### 2.6.3 Estabilizadores e Modificadores de Pega

Na ponte de Laguna/SC, figura 15, sua infraestrutura foi feita com estacas escavadas, possuindo tubo de revestimento da escavação, sem função estrutural, atingindo profundidade de 50 e 60 metros até alcançar o firme. O concreto é colocado internamente na estaca, referindo-se a concretagem submersa, onde o concreto é colocado e a água é expulsa pela parte superior da estaca conforme se enche de concreto. A construção sobre a água requer um grande estudo de especificações técnicas dos materiais a serem utilizados, pois se trata de elementos de alto desempenho e aplicações submersas. As estacas escavadas foram feitas com concreto estabilizado, que coíbem a hidratação do concreto para ter tempo de aplicação, nesse caso, de 36h. Foram utilizados cerca de 400 m<sup>3</sup> deste tipo de concreto. O AEH atua exatamente desta maneira, prolongando o tempo em que o concreto inicia seu estado de pega, visto que a logística foi considerada a partir da necessidade de se fazer concretagem submersa, que demanda tempo em função dos caminhões e balsas necessários. Fato este que fez com que o primeiro concreto aplicado ainda estaria trabalhável ao final da concretagem. Porém, para este tipo de aditivo deve-se ter muito cuidado, pois a aplicação exagerada poderá

causar o efeito contrário no concreto, fazendo com que o tempo de pega ocorra com mais rapidez, desta maneira, as medidas de AEH deverão ser muito bem calculadas e acrescentadas com exatidão à massa. O concreto autoadensável também está presente nesta obra juntamente com superplastificantes, ambos elucidados anteriormente, garantindo durabilidade de 100 anos à estrutura da ponte. Em teor, na ponte de Laguna, foram utilizados mais de 20 tipos de concreto, entre eles, o concreto submerso, auto adensável e estabilizado, com resistências iniciais e módulo de elasticidade controlados por equipe especializada, fornecendo cimentos do tipo CPIV RS 32 a granel e ensacado (MAPA DA OBRA, 2017).

**Figura 15:** Ponte de Laguna/SC.



**Fonte:** Mapa da Obra, 2017.

#### 2.6.4 SECC

Pesquisadores de uma universidade dos Estados Unidos no estado de Wisconsin desenvolveram um concreto de alto desempenho a partir de fibras polivinílicas e aditivos impermeáveis, chamado de Composto Cimentício Super-hidrofóbico (SECC, em inglês), consequência característica muito superior a outros materiais. Este composto é capaz de durar cerca de 120 anos sem a necessidade de reparos, porém, até o dia de hoje ainda não se tem notícias sobre a utilização do SECC no Brasil. Visto que o desembolso por metro cúbico desse concreto é de 12 vezes maior que o convencional, podendo ser reavaliado pela não

necessidade de gastos com manutenções periódicas e reparos. A performance deste concreto atua de forma peculiar, visto que sua superfície microscópica seja em formato pontiagudo, a água se abate para fora do concreto em vez de se acomodar em cavidades para posteriormente ser absorvida pelo concreto, fato que ocorre em concretos mais tradicionais. Recomenda-se a utilização deste composto em cabeceiras de pontes. “A ponte e a estrada não são projetadas para trabalhar em conjunto. É necessário algo entre elas que trabalhe esse estresse entre os materiais”, afirma Sobolev, desenvolvedor do projeto. A tendência da crescente evolução tecnológica é a aplicação deste composto em diferentes áreas da engenharia, não somente em estruturas de pontes, mas também em usinas e afins.

#### 2.6.5 Modificadores de Viscosidade

Aditivo modificador de viscosidade é empregado para diminuir a segregação da mistura devido a outros componentes presente no concreto. O VMA atua na água, deixando-a em um ponto moderado de viscosidade, que impede a água de segregar as partículas finas da massa, tornando o concreto coeso, o que é muito importante para se ter um material de qualidade. Porém, quando se tem outras tecnologias a partir de elementos característicos mais eficazes já ilustrados, é compreensível que o VMA possa ser utilizado em casos mais específicos apenas quando é necessário o uso de um concreto coeso, em vez de se utilizar outros materiais, como o próprio CAA somando outros aditivos arcando com seus respectivos custos.

#### 2.7 INSPEÇÕES

As inspeções de estruturas de fundações de pontes devem ser feitas no âmbito visual e subaquática sendo imprescindível a análise do elemento estrutural estando ou não submerso.

A inspeção visual se caracteriza pela necessidade de trabalhar com testes destrutivos ou não destrutivos dos materiais para descrever a qualidade dos materiais utilizados. São vários pontos que a atenção do engenheiro é exigida, porém está na mesoestrutura a condição de destaque, pois é a estrutura que recebe toda a carga da superestrutura e transfere às fundações. Se possuírem algum defeito, poderão transferir esforços horizontais do tabuleiro

ao pilar, sendo necessário verificar se há presença de trincas e fissuras. Um dos obstáculos a se ultrapassar é a questão financeira, pois os órgãos públicos muitas vezes não liberam a verba necessária para manutenção e correção de estruturas. Dessa maneira, devemos pensar em realizar inspeções, que fazem parte até de um processo de gestão mais amplo, com mais qualidade e desempenho, porque de fato é: o barato custa caro. A identificação antecipada das avarias existentes na estrutura, fornecerá um indicativo de decisão muito aprimorado para iniciar as ações de recuperação estrutural. Caso ocorra de chegar em pontos críticos de deterioração, haverá gastos muito maiores com materiais e mão de obra.

As patologias mais ocorrentes são fissuras, trincas e corrosão de armação. São comuns em estruturas de concreto que não possuem resistência à tração, colapsando repentinamente e com grande descarga de energia. Fissuras podem ser provenientes de projetos imperfeitos que decorrem de falhas de dimensionamento de elementos estruturais, falta de detalhamento, quantidades irregulares de aditivos e ausência de orientação na fase de execução. O aparecimento de fissuras indica o decréscimo da durabilidade e segurança estrutural. Toda a vida útil, estética e utilização ficam comprometidos. A desagregação, outro fator patológico ocorrente que deteriora o concreto e faz a separação de suas partes pela oxidação, aumentando o volume de concreto pela absorção excessiva de água podendo ocorrer também por choques na estrutura. A água salgada é o maior responsável pelas patologias marinhas e dentre elas a mais preocupante é a corrosão das armaduras, que está diretamente ligado a estrutura da ponte, fato este que faz com que os reparos se tornem muito caros e de difícil execução. Um concreto de boa qualidade, resistente e homogêneo, quando exposto a esse meio pode sofrer danos, porém um concreto de má qualidade, permeável e segregado, tende a sofrer muito mais. Devemos observar que nem sempre os devidos cuidados são tomados desde o início do projeto sendo necessário incluir a obra em projetos de recuperação estrutural, obras de manutenção e serviços para intensificar a qualidade da obra e seu uso de maneira segura.

## 2.8 MANUTENÇÕES E REPAROS

Como já vimos neste estudo, as pontes Colombo Machado Salles e Pedro Ivo Campos sofreram com o desgaste e corrosão estrutural, esboçadas nas figuras 17 e 18. Veremos a partir do próximo item algumas obras de intensificação estrutural que as pontes vêm recebendo desde que foi relatado em laudo técnico que havia a necessidade de recuperar

emergencialmente a estrutura, conforme ilustrado na figura 16. “Desde que foram inauguradas, a Ponte Colombo Salles há 45 anos e a Pedro Ivo Campos há 29 anos, as pontes nunca tinham recebido manutenção estrutural. A primeira ação neste sentido começou em fevereiro de 2019, nesta gestão, e segue em andamento. Porém, a manutenção que está sendo realizada nas estruturas não contempla a recuperação destes seis blocos que foram apontadas em estudo concluído no início deste ano (2020). Por isso, a necessidade de fazer a recuperação emergencial”, explica Thiago Vieira, secretário de infraestrutura. Consequentemente, as obras de restauração estrutural se identificam nos trabalhos de recuperação dos pilares e vigas em alguns pontos referentes a reforços, hidrojetamento e pintura metálica impermeabilizante (SANTOS, 2017).

**Figura 16:** Obras no sistema estrutural das pontes Pedro Ivo e Colombo Salles.



**Fonte:** CREA-SC, 2020.

Para os danos aparentes na estrutura, casualmente é utilizado um método de recuperação que leva em conta alguns fatores:

- Escarear a região que apresenta baixa resistência, escorando o local;
- Limpar a região oxidada da armadura com escova de aço, reforçando-a ou fazendo a substituição da armadura;
- Aplicar proteção química isolante;
- Fazer a caixaria que preencha toda a estrutura com graute de alta resistência usando argamassa de reparo ou expansiva quando necessário.

Foram idealizados em laudo a recuperação emergencial de seis blocos estruturais que apresentavam falhas graves em ambas as pontes, conforme abaixo:

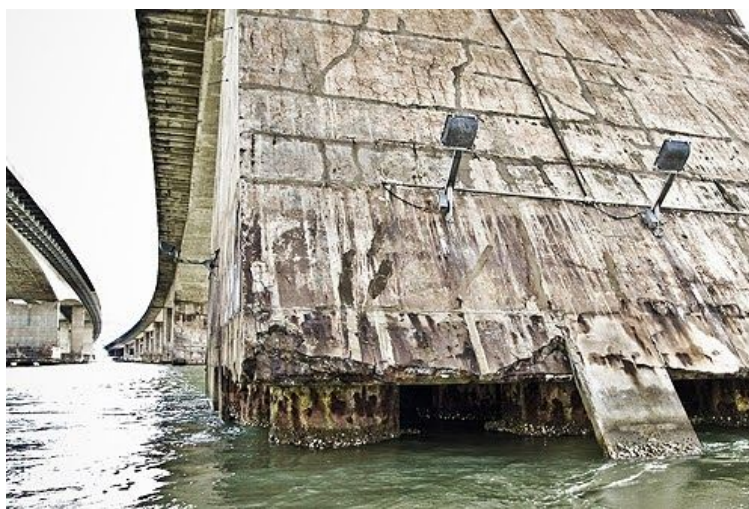
**Figura 17:** Estrutura danificada na ponte Pedro Ivo Campos.



**Fonte:** QUEIROZ, 2011.

Ferragens de aviso expostas na ponte Pedro Ivo Campos em Florianópolis deixa claro que não recebia vistorias desde sua abertura em 1991, um grande indício de que reparos e reforço estrutural deveria ter sido realizado já a algum tempo. Uma ponte nova com graves problemas estruturais denotam a baixa qualidade dos materiais. O reforço estrutural pode ser um assunto complexo quando envolve a capacidade de carga que a estrutura pode suportar, as normas de quando foi construída e os carregamentos que recebem atualmente, além de ensaios de resistência dos materiais submersos ou não.

**Figura 18:** Bloco de concreto com estrutura interna à mostra.



**Fonte:** QUEIROZ, 2011.



As Figuras 17 e 18 representam dois dos pontos de importância dos quais queremos enfatizar: a falta de materiais de qualidade, seus aditivos e a ausência de inspeções e reparos. Segundo Bekaert, (2020), a ABNT NBR 9452:2016 nos regula sobre inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto indicando periodicidade em quatro tipos:

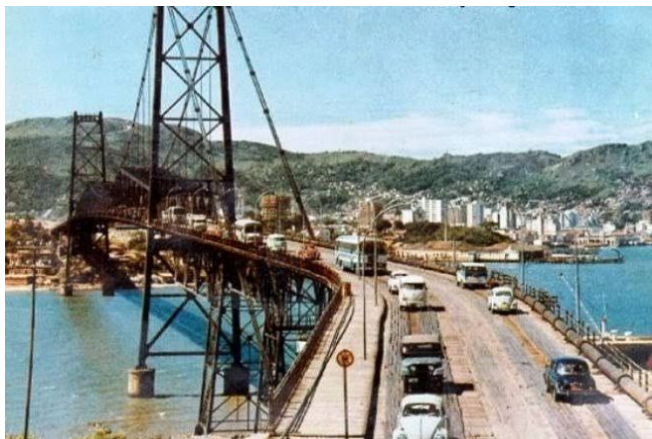
- Cadastral: realizada no início ou quando há alteração na obra;
- Rotineira: anual;
- Especial: a cada 5 anos, ou postergada para 8;
- Extraordinária: para não programadas.

Sabendo que existem materiais que podem nos proporcionar uma vida útil de 100 à 120 anos, podemos perceber que a estabilidade e sua funcionalidade dependem de alguns fatores que se sujeitam a um bom modelo de gestão que contemple a virtude de uma boa execução.

Seguindo o traçado, bem perto dos exemplos deste item, temos a ponte vizinha; famosa Hercílio Luz, que recentemente passou por todo este processo de manutenções e obras de recondicionamento estrutural. Que passaram desde o aumento em 160 metros quadrados de área, até a troca de 50 % da armação metálica original. As Figuras 19 e 20 representam a ponte na década de 60 e após a reforma, após o processo de recondicionamento. (Floripa Centro, 2020).

Durante o processo de recondicionamento, foram adicionados cinco blocos de treliças apoiados em quatro elementos de fundação temporárias para sustentação do vão central, retiradas após concluídas as obras. Com a remoção das treliças, a ponte manteve seu formato original.

**Figura 19:** Ponte Hercílio Luz na década de 60.



**Fonte:** Floripa Centro - Portal de Notícias, 2020.

**Figura 20:** Ponte Hercílio Luz após reforma.



**Fonte:** Floripa Centro - Portal de Notícias, 2020.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando esclarecer o objetivo geral desta pesquisa, concluímos por meio de estudos e pesquisas, que a necessidade de termos uma durabilidade acima da média nas estruturas de fundações de pontes, é imprescindível. Esse propósito só é atingido se enumerarmos os fatores que englobam todo este tema. A necessidade de se ter uma gestão com capacidade de exercer todas as etapas de projeto e execução com maestria dependem exclusivamente de se fazer um trabalho não somente humano, mas também com o maquinário ideal, de maneira que seja atingido a excelência. Estudos prévios, a escolha dos materiais, os métodos de construção, o meio ambiente e as consequências decorrentes da instalação da ponte serão analisados pelo grupo gestor. Se todos os pontos forem realizados com esmero, sem dúvidas, as garantias de se manter o padrão de consistência centenária, como a ponte de Laguna está prevista, certamente o empreendimento será digno de primeira página de manchetes.

Comparando os métodos construtivos podemos perceber a semelhança, em alguns pontos, entre caixões e tubulões, principais métodos desta pesquisa, não deixando de mencionar as estacas escavadas, que também são muito relevantes por estarem presentes em uma grande obra na ponte de Laguna que também oferece uma gama de passos a serem tomados. A necessidade de se obter fundação no segmento profunda, os tornam semelhantes. Embora, em tese, caixões aparentam suportar mais cargas em função de seu tamanho, visto que é completamente preenchido por concreto depois de finalizado e instalado, enquanto na utilização dos tubulões, há a necessidade de formar um conjunto de tubulões com bloco de coroamento superficial. Isso evidencia que não existe um método único para a execução de fundações profundas, mas sim uma forma de execução que se adapte conforme a região. Por vezes existem mais de um método com possibilidade, porém fatores como tempo, recurso, projeto e empresa fazem os engenheiros eleger algum deles. Vale ressaltar que ainda existem muitos fatores a serem explorados na metodologia de construção de fundações de ponte não citados neste estudo, pois é uma área dentro da engenharia muito vasta e importante, que necessita ser melhor explorada.

A adição de componentes finos a serem adicionados ao concreto variam, modificando e ampliando suas características. São eles: impermeabilizantes, plastificantes e superplastificantes, modificadores de viscosidade, estabilizadores, e modificadores de pega.

Porém, o título de aditivo que enaltece a durabilidade vai para os superplastificantes à base de polímeros, policarboxilatos, cristalizantes à base de silicatos e de polímeros acrílicos que tornam o concreto coeso e duradouro.

Concluindo, o grupo gestor da obra deverá dar muita atenção ao meio ambiente, já que devem se atentar também aos aspectos econômicos, regionais, nacionais e tecnológicos, que são condutas indispensáveis no regimento de um empreendimento. Dando ênfase no segmento ambiental, a introdução de elemento de ligação em um local cujo a presença de fauna e flora característicos sejam abundantes, torna a gestão o órgão mais significativo de todo o empreendimento, pois tudo o que será realizado na construção depende das escolhas que esse grupo irá desempenhar, também na contratação de pessoal qualificado com experiência, pois sabemos que a questão ambiental, por se tratar de grandes obras, está amplamente ligado com as gerações futuras, que se desprezada, poderão ter que lidar com aspectos negativos causados por desacertos com a causa ambiental.

#### 4. REFERÊNCIAS

1. ABDALA, Vitor. AGÊNCIA BRASIL. **Mais de 730 mil veículos devem cruzar a Ponte Rio-Niterói no feriado de Páscoa**, Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-03/mais-de-730-mil-veiculos-devem-cruzar-ponte-rio-niteroi-no-feriado-de-pascoa>. Acesso em: 20 nov. 2020.
2. AECWEB. **Aditivos melhoram propriedades e aplicações do concreto**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/aditivos-melhoram-propriedades-e-aplicacoes-do-concreto/14428>. Acesso em: 4 out. 2020.
3. BLOG BELGO BEKAERT. **Manutenção em pontes: saiba mais sobre os procedimentos de inspeção e reparos**. Disponível em: <https://blog.belgobekaert.com.br/construcao-civil/manutencao-em-pontes/>. Acesso em: 5 out. 2020.
4. BLOG DA LIGA. **Conheça 4 obras construídas com o uso de aditivos e adições**. Disponível em: <https://blogdaliga.com.br/obras-construidas-com-aditivos-e-adicoes/>. Acesso em: 3 out. 2020.
5. CREA, 2020. **Conselho fiscaliza obras de reforço estrutural das pontes Colombo Salles e Pedro Ivo Campos**. Disponível em: <https://portal.crea-sc.org.br/conselho-fiscaliza-obras-de-reforco-estrutural-das-pontes-colombo-salles-e-pedro-ivo-campos/>. Acesso em: 20 nov. 2020.
6. FILHO, J. D. A. G. **Fundações de pontes: hidráulica e geotécnica**. 1. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2003.
7. FLORIPA CENTRO - PORTAL DE NOTÍCIAS. **Ela não é a mesma – As modificações que diferenciam a ‘nova’ Ponte Hercílio Luz da original, de 1926**. Disponível em: <https://floripacentro.com.br/ela-nao-e-a-mesma-as-modificacoes-que-diferenciam-a-nova-ponte-hercilio-luz-da-original-de-1926/>. Acesso em: 22 nov. 2020.

8. FORTE, Ricardo Jorge de Matos. **Reabilitação geotécnica da ponte Internacional de Valença**: Enscadeiras para reforço dos embasamentos dos pilares. fev./2017. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/143404658.pdf>. Acesso em: 26 nov.
9. IBRACON. Avanços tecnológicos na execução de fundações e contenções. **Concreto e Construções**, São Paulo/SP, n. 74, p. 16-17, jun./2014. Disponível em: [http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_74.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_74.pdf). Acesso em: 2 mai. 2020.
10. MAPA DA OBRA. **Concretagem submersa exige soluções adequadas**. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concretagem-submersa-exige-solucoes-adequadas/>. Acesso em: 29 mai. 2020.
11. MAPA DA OBRA. **Concreto submerso é a melhor escolha para estruturas de fundações abaixo d'água**. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/utilize-concreto-submerso/>. Acesso em: 31 mai. 2020.
12. MAPA DA OBRA. **Ponte de Laguna conta com 20 diferentes tipos de concreto da Engemix**. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/ponte-laguna/>. Acesso em: 20 nov. 2020.
13. MATA NATIVA. **EIA RIMA – Estudo e Relatório de Impacto Ambiental**. Disponível em: [www.matanativa.com.br/blog/eia-rima/](http://www.matanativa.com.br/blog/eia-rima/). Acesso em: 26 mai. 2020.
14. MAUÁ. **Conheça a trabalhabilidade e outras propriedades do concreto fresco**. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/blog/conheca-trabalhabilidade-e-outras-propriedades-do-concreto-fresco/>. Acesso em: 1 jun. 2020.
15. O CANAL DA ENGENHARIA. **Pontes sobre a água - Como são construídas**. YouTube. Set./2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=46MiUJA7YpI&t=272s>. Acesso em: 10 nov. 2020.

16. QUEIROZ, Daniel. **Com estrutura precária, pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Salles passarão por inspeção técnica**, Florianópolis. nov/2011. Disponível em: <https://ndmais.com.br/noticias/com-estrutura-precaria-pontes-pedro-ivo-campos-e-colombo-salles-passarao-por-inspecao-tecnica/>. Acesso: 20 nov. 2020.
17. RAMOS, Leonardo Almeida; YABUSAKI, G. H. D. S; COSTA, A. F. D. **Método de perfuração por circulação reversa com air lift empregado na fundação da ponte Anita Garibaldi**, São Paulo/SP. dez./2019. Acesso em: 25 nov. 2020.
18. RATTON, P. *et al.* **A Importância dos Estudos Prévios de Modelagem na Definição da Geometria Estrutural de Pontes**, Corumbá-MS, ago./2012. Disponível em: <https://itti.org.br/wp-content/uploads/2017/02/ratton-p-ratton-e-blasi-g-f-godoy-p-r-c-gobbi-m-f-revista-iep-2012.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2020.
19. ROCA. **Tubulões sobre ar comprimido**. 2017. Disponível em: <https://reachsite.com.br/rocafundacoes2/tubuloes-sobre-ar-comprimido/>. Acesso em: 18 nov. 2020.
20. ROZA, Fernanda; LEITÃO, Renata. **Fundação profunda tipo caixão**. set./2019. Disponível em: [https://issuu.com/fernandasroza/docs/caix\\_o\\_fernanda\\_e\\_renata](https://issuu.com/fernandasroza/docs/caix_o_fernanda_e_renata). Acesso em: 03 out. 2020.
21. SALDANHA, Felipe. CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA. **Fundações Submersas: um desafio para a engenharia moderna**. Disponível em: <https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2016/04/27/fundacoes-submersas-um-desafio-da-engenharia-moderna/>. Acesso em: 28 mai. 2020.
22. SANTOS, Bruno Dos; SILVA, J. C. D. **Patologia em pontes: Estudo de caso em patologias da ponte Pedro Ivo Campos e orientação de reforma**. Palhoça-SC. 2017. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/3764/merged%20%283%29.pdf?sequence=7&isAllowed=y>. Acesso em: 25 mar. 2020.

**23. TECNOSIL. Aditivos para concreto: principais tipos e para que servem.** Disponível em:

<https://www.tecnosilbr.com.br/aditivos-para-concreto-principais-tipos-e-para-que-servem-2/>.

Acesso em: 15 out. 2020.

**24. TECNOSIL. Agregados para concreto: o que são e para que servem?.** Disponível em:

<https://www.tecnosilbr.com.br/agregados-para-concreto-o-que-sao-e-para-que-servem/>.

Acesso em: 10 jun. 2020.

**25. VITÓRIO, J. A. P. Fundamentos da erosão nas fundações de pontes e nos aterros de acesso,** Recife. jun./2015. Disponível em:

[http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos\\_Erosao\\_Fundacoes\\_Pontes.pdf](http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Erosao_Fundacoes_Pontes.pdf). Acesso em: 12 set. 2020.